

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0151-04

# 45° 倾斜光纤光栅及其偏振依赖损耗特性研究

付圣贵 刘晓娟

(山东理工大学理学院, 山东 淄博 255049)

**摘要** 利用扫描相位掩模法在光敏光纤上成功写制了 45° 倾斜光纤光栅, 为了增加光栅的长度, 采用了在同一光纤上连续拼接写制多段倾斜光栅的技术, 提高了 45° 倾斜光纤光栅的偏振选择特性。对写制的 45° 倾斜光纤光栅的偏振依赖损耗特性进行了实验研究, 报道了利用 45° 倾斜光纤光栅作为偏振元件, 实现了掺铒光纤激光器的线偏振稳定输出, 输出激光的偏振消光比达到 30 dB, 证明了 45° 倾斜光纤光栅具有良好的偏振依赖特性, 作为一种新的偏振元件, 具有光纤化、性能高、结构紧凑以及价格低廉的特点, 具有很大的发展潜力。

**关键词** 45° 倾斜光纤光栅; 偏振依赖损耗; 扫描相位掩模法; 光纤激光器

**中图分类号** TN253 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200835s2.0151

## Polarization-dependent Loss Characteristic of 45° Tilted Fiber Bragg Gratings

Fu Shenggui Liu Xiaojuan

(School of Science, Shandong University of Technology, Shandong, Zibo 255049, China)

**Abstract** A 45° tilted fiber Bragg grating (TFBG) is fabricated in photosensitive fiber successfully using the scanning phase mask technique and a Ar-ion laser source. In order to increase the TFBG's length and its polarization-dependent loss (PDL) effect, a concatenating technique is used in the fabricating process, keeping the uniform structure of the whole grating. The PDL characteristic of the TFBG is experimentally researched in the paper. Using a 45° TFBG as the polarization element, a single-polarized Er-doped fiber laser is demonstrated. The polarization-extinction ratio of the output laser is about 30 dB, indicating the high PDL of the 45° TFBG. 45° TFBGs have the advantages of in-fiber, compact, good polarization capability and low price used as polarization devices.

**Key words** 45° tilted fiber Bragg grating; polarization-dependence loss; scanning phase mask technique; fiber lasers

### 1 引言

光纤光栅作为一种重要的光纤光子器件, 一直得到人们的广泛研究和重视<sup>[1,2]</sup>。倾斜光纤光栅是一种比较特殊的光栅, 同样是纤芯的折射率周期性调制, 传统光纤光栅的栅格平面与光纤的轴向垂直, 而倾斜光纤光栅(TFBG)的栅格平面与光纤的轴向成一定的夹角。某些特定角度的倾斜光纤光栅已经被证明在光纤传感、激光等领域具有重要的应用价值<sup>[3~7]</sup>。而 45 度倾斜光栅在最近几年也开始受到人们的重视, 特别是它具有的偏振选择特性引起大家的注意<sup>[8]</sup>。即它对于不同偏振方向的光的损耗是不一样的, 存在一个极大值和一个极小值, 在参数合适的情况下, 其偏振依赖损耗可达到 30dB 以上, 如此高的偏振损耗选择性, 可以使它成为一个理想的

光纤偏振器件, 并且具有光纤化、成本低、损耗低的特点。

本文在光敏光纤上成功写制了 45° 倾斜光纤光栅, 并对它的偏振依赖损耗特性进行了实验研究, 在此基础上, 利用写制的 45° 倾斜光纤光栅作为偏振元件, 演示了一个偏振输出的掺铒光纤激光器, 输出激光的偏振消光比达到 30 dB, 证明了 45° 倾斜光纤光栅作为光纤偏振元件具有光纤化、结构简单、成本低、性能高等优点。

### 2 45° 倾斜光纤光栅的写制

实验用的激光光源为连续输出 Ar 离子激光器, 最高输出功率为 120 mW, 采用扫描相位掩模法写制。在倾斜光栅的写制中, 模板需要跟光敏光纤

成一定角度,这个角度可以根据光纤的折射率和要求的光栅倾斜角度进行计算获得。 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅的写入对于光纤的光敏性要求很高,要想写入高质量的倾斜光纤光栅必须使用光敏光纤,并且光敏光纤需要高压载氢增加光纤的光敏性。虽然根据要求光栅的倾斜角度和光纤的参数可以得知模板与光纤的夹角,但是在模板放置时,具有人为操作的误差,因此在实验开始需要反复地调节模板的角度。一般可以把经过适当曝光的光栅放置到显微镜下观测,通过显微图像观测实际写入的光栅的角度,再次调整模板的角度。要达到预定的角度,一般需要多次细心地观测、调节。

写入的 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅的性能跟栅区长度、扫描速度、曝光强度等参数有直接的关系。要想得到高性能的倾斜光纤光栅,必须用载氢后的光敏光纤写入,由于光敏性很强,用较快的扫描速度,较短的长度便可以写出理想的光栅。根据 Aston 大学 Kaiming Zhou 博士的工作<sup>[8]</sup>,光栅的长度对 PDL 的大小具有重要的影响,光栅的长度越长, $45^\circ$ 倾斜光纤光栅偏振依赖特性越好。在一定条件下,其偏振依赖损耗(PDL)可以达到 30 dB 以上。但是在实验中受到模板长度的限制,每次只能写 3.5 mm。要想得到高 PDL 值的倾斜光纤光栅,利用拼接技术,在同一光纤上拼接写入多段倾斜光栅,并且保持结构方向一致性,可以得到高质量的 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅。

实验采用 B/Ge 共掺的光敏光纤写入,每段光栅长度 3.5 mm,写入速度为 0.04 mm/s。光纤与光栅模板的外角度为  $37.8^\circ$ ,写入的光纤的倾斜角度为  $45^\circ$ 左右,由于调节误差,写入的光栅往往需要放到显微镜下观察光栅角度,然后再进行适当的调整。

利用宽带光源、起偏器和偏振控制器,测量了写入的光栅的偏振损耗,宽带光源经过起偏器后,再经

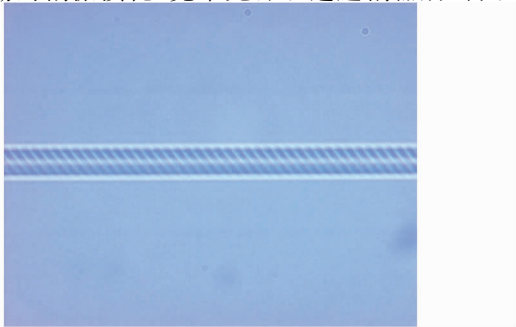


图 1 实验写入的 $45^\circ$ 倾斜光栅显微照片

Fig. 1 Image of a  $45^\circ$  TFBG under a microscope

过偏振控制器,进入倾斜光纤光栅,调制偏振控制器,在光纤光栅一端记录透射光谱情况,得到了写入的倾斜光纤光栅的 PDL。在实验中写入的 $45^\circ$ 倾斜光纤光栅的 PDL 有 6 dB 左右,与理论值具有较大的差异。造成 PDL 不够高的主要原因一是因为使用的光纤的光敏性不够好,二是光路调节中存在误差,写入的光栅不是精确的 $45^\circ$ ,还有一个重要原因,在进行多段拼接的时候出现了错位所致。

### 3 基于 $45^\circ$ 倾斜光栅的偏振光纤激光器

光纤激光器是一种重要的光纤激光光源。光纤激光器与普通固体激光器一个很重要的区别就是光纤激光器本身输出的光不是线偏振的,而偏振特性是激光的一个很重要性质,在许多应用场合需要线偏振激光,这样就必须对光纤激光器进行改进,使它能够输出偏振光。一种方法是采用保偏掺杂光纤作为工作介质,输出偏振激光,但是由于光纤结构特殊,工艺也不成熟,往往带有较大的损耗,并且保偏光纤跟一般光纤的兼容性也存在问题。还有一种比较普遍的方法就是在腔里加入起偏器件,这类起偏器件一般采用晶体或其他材料制作,两端需要接入尾纤,成本比较高,插入损耗也比较大。

$45^\circ$ 倾斜光纤光栅的偏振损耗特性使它具有了作为一种优秀起偏器件的潜力。因为倾斜光栅直接写入在光纤上,可以跟普通光纤相兼容,而且光栅的写入技术很成熟,结构可以方便控制,成本低廉,并且具有相对能耐高温的优势,这对于高功率光纤激光器获得偏振激光输出具有重要的意义。本文利用自己写入成功的 $45^\circ$ 倾斜光栅,作为起偏器件,成功研制出了偏振输出的光纤激光器,在倾斜光纤光栅的 PDL 为 6 个 dB 时,其两个正交偏振方向的输出强度比最高达到 30 dB,为线偏振输出。

根据文献<sup>[8]</sup>报道,利用同样的技术, $45^\circ$ 倾斜光纤光栅的 PDL 可以达到 30 dB 以上,但是由于在写入过程中光栅倾斜角度有所偏差,多段拼接的时候也有所错位,因此写出来光栅 PDL 没有达到预期目标,不过将其作为一种激光起偏器件,插入到激光腔内,不用那么高的指标,输出的激光也应该满足要求。

图 2 为基于倾斜光纤光栅的偏振光纤激光器系统示意图,系统利用 980 nm LD 作为抽运源,采用环行腔结构,抽运激光经过波分复用器(WDM)后抽运掺 Er 光纤(EDF),掺 Er 光纤的长度约为 10 m,接入隔离器防止反射光反馈对于激光器的损

害。作为选频腔镜的 Bragg 光栅的谐振波长为 1550 nm,在腔内插入了 45°倾斜光纤光栅,激光经过一个 1:9耦合器输出。

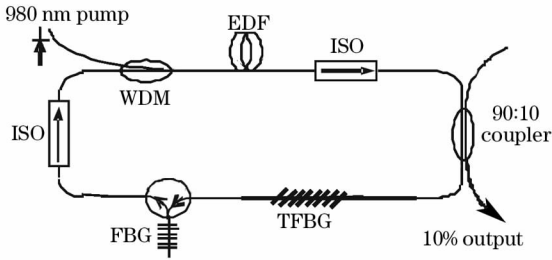


图 2 基于倾斜光纤光栅的偏振光纤激光器系统示意图  
Fig. 2 Single-polarized Er-doped fiber laser based on a 45°TFBG

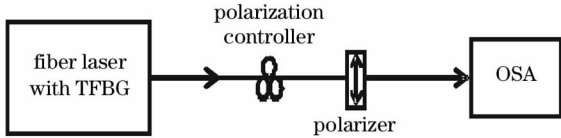


图 3 输出激光的偏振度测量方式示意图  
Fig. 3 Scheme of the measurement instrument of output laser

光纤激光系统输出的激光经过图 3 所示方法测量其偏振度,首先经过一个偏振控制器,然后经过一个检偏器,最后由光谱分析仪观测。在测量时,调整偏振控制器,改变输出激光的偏振方向,在输出激光偏振方向与检偏器偏振方向一致时,得到最大输出,在输出激光偏振方向与检偏器方向垂直时,得到最小输出。其最大值与最小值之间的比值可以反应出光纤激光器输出激光的偏振度大小。

由于光纤激光器在不加入任何偏振器件的时候,输出激光也有一定的偏振度,为了进行比较,我们在其它结构完全一样,腔内没有倾斜光栅和腔内插入倾斜光栅分别对输出激光的偏振度进行了测量。图 4 是在腔内没有插入任何偏振器件时,利用同样方式对输出激光的偏振度进行的测量,可以看到在没有 TF BG 时输出激光的偏振度比较小,两个方向对比不到 2 个 dB。这说明激光器本身输出的激光具有一定偏振,但是偏振度比较小。接着我们将 TF BG 插入腔内,作为起偏器件进行实验。图 5 是对输出激光进行了的测量曲线。可以看到腔内插入 TF BG 后,激光器输出激光的偏振度得到明显的提高,对两个方向偏振损耗的对比超过了 30 dB,只有线偏振光才能达到如此高的比例。这说明,在腔内插入 TF BG 后,系统输出的激光为线偏振光。

由于 TF BG 写作长度比较长,拼接了多段光

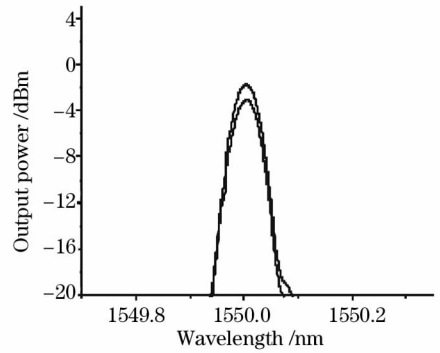


图 4 腔内没有 45°TFBG 时输出激光的偏振度测量  
Fig. 4 Polarization-extinction ratio of the output laser without 45°TFBG

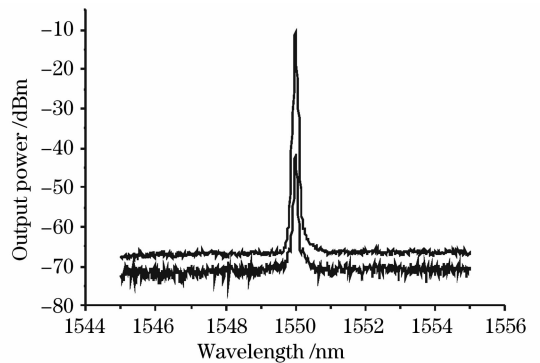


图 5 腔内插入 45°TFBG 后得到的输出激光  
Fig. 5 Polarization of the output laser with a 45°TFBG in cavity

纤,因此对系统也引入了一定的损耗,在插入 TF BG 后,系统的阈值明显有所提高,完善光栅的制作工艺,例如利用较长的倾斜光栅模板进行制作,完善写作制光纤的角度等,可以预见器件的损耗将大大降低,从而减小对系统输出功率的影响。利用上面的系统,在抽运电流为 100 mA 的时候,得到了 1.5 mW 的输出。

## 4 结 论

本文在成功写作 45°倾斜光纤光栅的基础上,研究了它的偏振特性,根据 45°倾斜光纤光栅具有偏振依赖损耗的特点,利用 45°TFBG 作为起偏器件进行了偏振输出光纤激光器实验,在写制的 45°倾斜光纤光栅的偏振依赖损耗值为 6 dB 的时候,系统输出激光的消光比超过了 30 dB,获得了线偏振光输出。由于光纤光栅器件具有的光纤兼容性,低成本,结构灵活等特点,在偏振光纤激光器的应用领域具有非常大的开发潜力。

## 参 考 文 献

1 Li Bin, Liu Yan, Tan Zhongwei et al.. Linearly chirped fiber

- gratings using uniform phase mask[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3):414~418.
- 李 彬,刘 艳,谭中伟等.利用均匀相位掩模板制作线性啁啾光纤光栅[J].*光学学报*,2008,**28**(3):414~418
- 2 Xu Junjiao, Li Jie, Rong Huabei *et al.*. Analysis and measurement on refractive index sensing of few mode fiber Bragg gratings[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3):565~568  
徐俊娇,李 杰,戎华北等.少模光纤布拉格光栅折射率传感的分析与测量[J].*光学学报*,2008,**28**(3):565~568
  - 3 Rachel Parker, C. Martijn de Sterke. Reduced cladding mode losses in tilted gratings that are rotationally symmetric[J]. *J. Lightwave Technology*, 2000, **18**(2): 2133~2138
  - 4 Pavel Ivanoff D. C. Reyews,Paul S. Westbrook. Tunable PDL of twisted-tilted fiber gratings [J]. *IEEE Photon Technol Lett.*, 2003, **37**(15): 828~830
  - 5 Xu Lingling, Jin Long, Kai Guiyun *et al.*. Switchable dual-wavelength erbium-doped fiber laser with a tilted fiber Bragg gratin[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007,**27**(9):1658~1662  
徐玲玲,金 龙,开桂云等.利用倾斜光纤光栅的可开关双波长光纤激光器[J].*光学学报*,2007,**27**(9):1658~1662
  - 6 K. Zhou, A. G. Simpson, L. Zhang *et al.*. Side detection of strong radiation-mode out-coupling from blazed FBGs in single-mode and multimode fibers[J]. *IEEE Photon Technol. Lett.*, 2003, **15**(7): 936~938
  - 7 A. G. Simpson, Zhou Kaiming, Zhang Lin *et al.*. Optical sensor interrogation with a blazed fiber Bragg grating and a charge-coupled device linear array[J]. *Appl. Opt.*, 2004, **43**(1): 33~40
  - 8 Kaiming Zhou, G. Simpson, X. Chen *et al.*. High extinction ratio in-fiber polarizers based on 45 degree tilted fiber Bragg gratings[J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(11):1285~1287